Segunda Lei de Newton

A primeira lei de Newton afirma que, num referencial inercial, se a resultante das forças que agem sobre um corpo é nula, ele está parado ou em MRU. Para discutir a segunda lei de Newton, vamos considerar o seguinte experimento de pensamento.

Um corpo homogêneo se encontra inicialmente em repouso num dado referencial inercial. Na primeira parte do experimento (Fig.17), aplicamos, sobre esse corpo, em ocasiões diferentes, as forças **F**, **F**' e **F**'', de módulos diferentes, e medimos as acelerações, encontrando, respectivamente, **a**, **a'** e **a**''.
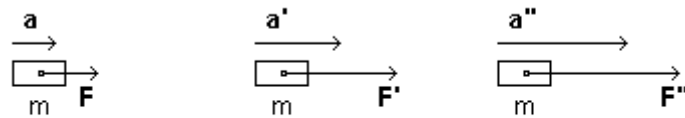
Fig.17

O interessante é que, em módulo:

$$\frac{F}{a} = \frac{F'}{a'} = \frac{F''}{a''}$$

Como o cociente é independente dos módulos das forças aplicadas e das acelerações resultantes, ele deve representar uma propriedade do corpo. Essa propriedade é chamada massa do corpo. Em termos vetoriais escrevemos:

F = m**a**

Na segunda parte do experimento (Fig.18), aplicamos uma força **F** sobre o corpo, depois dividimos o corpo em duas partes iguais e, sobre uma delas, aplicamos a mesma força **F** e, finalmente, dividimos essa parte em duas partes menores e iguais e, sobre uma delas, aplicamos novamente a mesma força **F**.
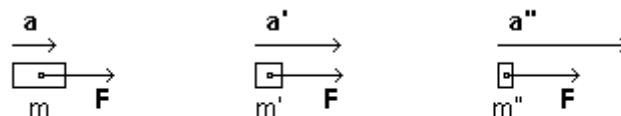
Fig.18

Medindo as acelerações, encontramos **a'** = 2**a** e **a''** = 2**a'** = 4**a**. A expressão acima garante que:

F = m' **a'**

e

F = m'' **a''**

ou seja:

F = 2m' **a**

e

$\mathbf{F} = 4m'' \mathbf{a}$

Comparando estas duas últimas expressões com aquela de cima obtemos o seguinte resultado:

$m' = ½ m$

e

$m'' = ¼ m$

Portanto, cada uma das duas partes iguais em que o corpo foi dividido tem massa ½ m e cada uma das quatro partes iguais em que o corpo foi dividido tem massa ¼ m. Como o experimento poderia continuar com frações cada vez menores do corpo e como o corpo é homogêneo, podemos concluir que a sua massa está igualmente distribuída ao longo do seu volume.

Por outro lado, a discussão acima deixa claro que quanto menor a massa do corpo, maior a aceleração adquirida para a mesma força aplicada.

Se um corpo está parado ou em MRU, a primeira lei de Newton afirma que esse corpo permanece no seu estado de movimento se a resultante das forças que sobre ele atuam é zero. Se a resultante das forças é diferente de zero, esse corpo terá uma aceleração tanto maior quanto menor for a sua massa. A massa pode ser pensada, portanto, como uma medida da inércia do corpo, ou seja, da sua tendência de permanecer no seu estado de movimento.

A segunda lei de Newton pode ser escrita: a aceleração adquirida por um corpo é diretamente proporcional à resultante das forças que sobre ele atuam, tendo a mesma direção e sentido desta resultante. A constante de proporcionalidade é a massa do corpo. Matematicamente:

$\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a}$
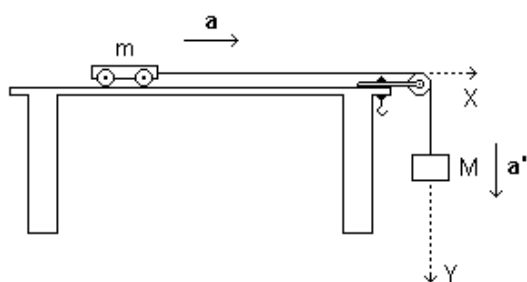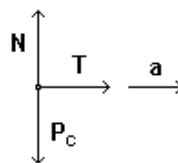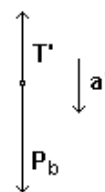
Fig.19(a) (b) (c)

Experimento de Aplicação da Segunda Lei

Um carrinho e um bloco suspenso estão unidos por um fio que passa por uma roldana (Fig.19).

Vamos supor que o fio é inextensível, que o fio e a roldana têm massas muito menores do que as massas do carrinho e do bloco, de modo que podemos considerar nulas as massas do fio e da roldana, e que todo atrito é desprezível.

O experimento consiste em abandonar o bloco e medir o tempo levado pelo carrinho para percorrer certa distância sobre a mesa. O carrinho tem uma aceleração **a** e o bloco, **a'**. Como o fio é inextensível e as massas dele e da roldana são nulas, os módulos dessas acelerações são iguais.

Em primeiro lugar, vamos determinar o módulo da aceleração do bloco e do carrinho usando as leis de Newton. A resultante das forças que agem sobre o carrinho é **T** (Fig.19(b)). Assim, pela segunda lei podemos escrever, em módulo:

$$T = ma$$

Tomando como positivas as forças na mesma direção do eixo Y, da segunda lei temos, em módulo, para o bloco (Fig.19(c)):

$$Mg - T' = Ma$$

e como T = T', dessas duas expressões obtemos:

$$a = \left(\frac{M}{m + M} \right) g$$

Tomando um carrinho de massa m = 112,84 g, um corpo suspenso de massa M = 10 g e usando, para o módulo da aceleração gravitacional, o valor $g = 9{,}81\ m/s^2$, temos:

$$a = 0{,}80\ m/s^2$$

Em segundo lugar, vamos determinar o módulo da aceleração do bloco e do carrinho pela Cinemática. Quando o bloco é abandonado, o carrinho percorre, sobre a mesa, uma distância d no intervalo de tempo t. Então:

$$d = x(t) - x(0) = v(0)\,t + \tfrac{1}{2} at^2$$

e com v(0) = 0 temos:

$$a = \frac{2d}{t^2}$$

Marcamos, sobre a mesa, dois pontos separados de uma distância d = 0,80m. Medimos 10 vezes o intervalo de tempo levado pelo carrinho para percorrer, a partir do repouso, quando o bloco é abandonado, a distância escolhida. Digamos que o intervalo de tempo médio obtido tenha sido t = 1,38s. Substituindo os valores de d e t na expressão acima obtemos:

$$a = \frac{(2)(0{,}80\,m)}{(1{,}38\,s)^2} = 0{,}84\,m/s^2$$

Através das leis de Newton obtivemos $a = 0{,}80\ m/s^2$ e através da Cinemática obtivemos $a = 0{,}84\ m/s^2$. Os dois valores estão bastante próximos um do outro.

O procedimento pode ser repetido para corpos suspensos de massas diferentes e para carrinhos de massas diferentes.

Exercício 1

Um corpo com massa de 5 kg está apoiado sobre um plano horizontal sem atrito. Sobre esse corpo atuam duas forças horizontais, perpendiculares entre si, com módulos F_x = 3 N e F_y = 4 N. Determine o módulo, a direção e o sentido da aceleração do corpo.

Exercício 2

Num lago de águas calmas, um homem de 60 kg, a bordo de um barco de 100 kg, segura uma das extremidades de uma corda que tem a outra extremidade atada a um segundo barco, também de 100 kg, distante 26 m do primeiro. O homem exerce uma força com módulo de 10 N sobre a corda, diminuindo a distância entre os barcos. Considerando um referencial inercial fixo no fundo do lago e ignorando a massa da corda e o atrito com a água, calcule os módulos das acelerações dos barcos.
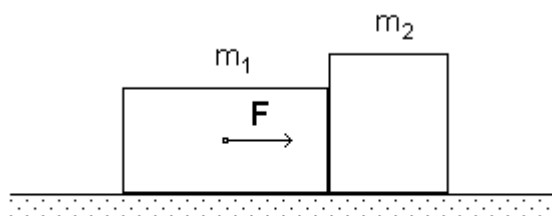
Fig.20

Exercício 3

Num dado referencial inercial, dois blocos estão em contato um com o outro, têm massas m_1 = 2 kg e m_2 = 4 kg e estão apoiados sobre uma superfície horizontal sem atrito (Fig.20). Uma força **F**, com módulo de 12 N, é aplicada no bloco 1. Calcule o módulo da força que o bloco 1 exerce sobre o bloco 2.